

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА имени А. Н. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к практическим занятиям и самостоятельной работе
по дисциплине

ВЫСШАЯ ГЕОДЕЗИЯ

*(для студентов дневной и заочной форм обучения направления подготовки
6.080101 – Геодезия, картография и землеустройство)*

Харьков – ХНУГХ им. А. Н. Бекетова – 2016

Методические указания к практическим занятиям и самостоятельной работе по дисциплине «Высшая геодезия» (для студентов дневной и заочной форм обучения направления подготовки 6.080101 – Геодезия, картография и землеустройство) / Харьков. нац. ун-т гор. хоз-ва им. А. Н. Бекетова; сост. : Ю. Н. Гавриленко, И. С. Глушенкова. – Харьков : ХНУГХ им. А. Н. Бекетова, 2016. – 40 с.

Составители: д-р техн. наук, проф. **Ю. Н. Гавриленко**,
канд. техн. наук, доц. **И. С. Глушенкова**

Рецензент: д-р экон. наук, проф. К. А. Мамонов

Рекомендовано кафедрой геоинформационных систем, оценки земли и недвижимого имущества, протокол № 1 от 29.08.2014 г.

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
Предисловие	4
Лабораторная работа № 1 Схема и программа построения государственной геодезической сети СССР	5
Лабораторная работа № 2 Схема и программа построения государственной геодезической сети Украины	8
Лабораторная работа № 3 Вычисление радиусов кривизны нормальных сечений	9
Лабораторная работа № 4 Вычисление длин дуг параллелей, меридианов, площадей и размеров рамок съемочных трапеций	11
Лабораторная работа № 5 Решение треугольника триангуляции на эллипсоиде	12
Лабораторная работа № 6 Проектирование треугольника триангуляции с эллипсоида на плоскость	17
Лабораторная работа № 7 Перевычисление плоских прямоугольных координат из одной системы в другую	24
Приложение А Описание комплекса компьютерных программ для решения задач сфероидической геодезии	30
Список источников	39

ПРЕДИСЛОВИЕ

Сфероидическая геодезия является одним из важнейших разделов высшей геодезии. Она изучает:

- геометрию поверхности земного эллипсоида;
- методы решения геодезических задач на этой поверхности и изображения ее на плоскости.

При этом как самостоятельные задачи рассматриваются:

- свойства нормальных сечений;
- свойства геодезических линий;
- основные координатные линии на поверхности эллипсоида;
- отображение поверхности эллипсоида по частям на плоскости;
- методы перевычисления эллипсоидальных координат B и L в плоские координаты прямоугольные x и y и обратно.

В зарубежной литературе сфероидическую геодезию иногда называют математической геодезией или геометрической геодезией.

Содержание лабораторных работ разработано таким образом, чтобы избавить студентов от чисто механических вычислений, состоящих, как правило, в подстановке численных значений в формулы, а сосредоточить внимание на понимании сущности решаемых задач, методах их решения и осознанного анализа получаемых результатов. Авторами разработан комплекс программ для решения задач сфероидической геодезии, описание которого приведено в приложении. В программном комплексе реализованы практически все вычислительные процедуры от геометрических элементов поверхности земного эллипсоида до задач, возникающих при проектировании поверхности эллипсоида на плоскость. Использование программного комплекса дает возможность выполнить значительное количество расчетов без существенных затрат времени. Такой подход, на наш взгляд, должен развивать у студентов навыки в обобщении результатов и в формулировании выводов, приучать их к современным технологиям решения геодезических задач.

Лабораторная работа № 1

Схема и программа построения государственной геодезической сети СССР

Государственная геодезическая сеть – это совокупность пунктов, равномерно размещенных на территории страны и закрепленных на местности специальными центрами, которые обеспечивают их сохранность и постоянство в плане и по высоте на протяжении длительного времени.

Схема построения геодезических сетей основана на принципе перехода от общего к частному. Согласно этому принципу геодезические сети делятся на классы, а их построение выполняется несколькими этапами. Сначала создается сеть высшего класса, которая служит основой для построения сетей низших классов.

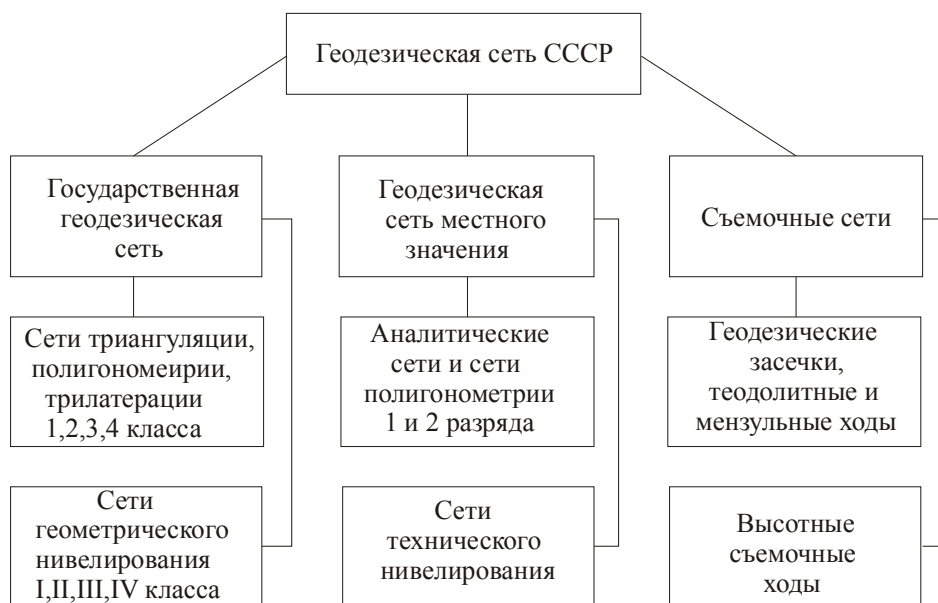


Рисунок 1.1 – Структура Государственной геодезической сети СССР

В 1961 году в СССР была принята классификация геодезических сетей, согласно которой они делятся на три группы:

1. Государственная геодезическая сеть.
2. Геодезическая сеть местного значения.
3. Съемочные геодезические сети.

Каждая из указанных групп сетей делится в свою очередь на плановую и высотную сеть (рис. 1.1).

Сеть триангуляции 1 класса называется астрономо-геодезической сетью. Геодезическую сеть 1 и 2 классов называют опорной геодезической сетью, а сети 3, 4 классов – сетями сгущения.

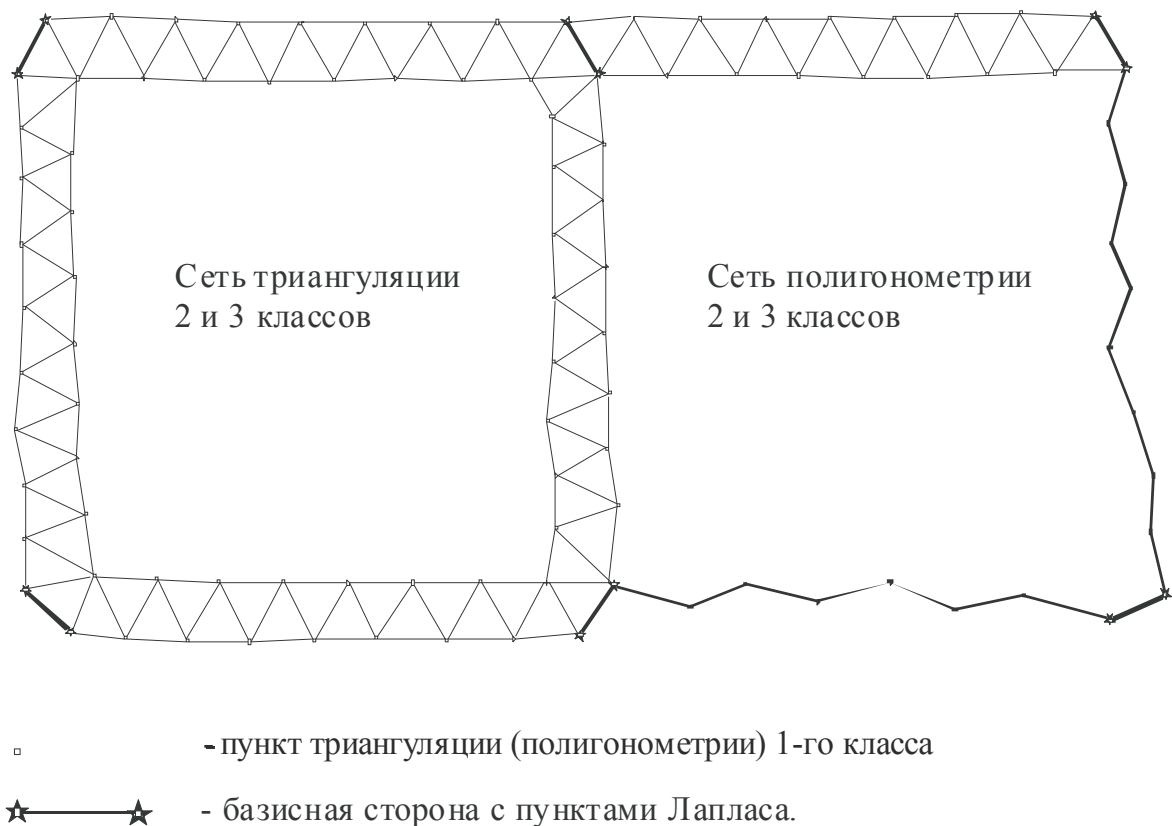


Рисунок 2.2 – Полигоны 1 класса астрономо-геодезической сети СССР

Порядок выполнения работы:

1. Составить краткий конспект (2-4 страницы) основных положений о построении государственной геодезических сетей СССР на основании изучения «Инструкции о построении государственной геодезической сети СССР» - М., «Недра», 1966. – 340 с. (разделы I, II, приложение 2).
2. Изучить и вычертить схему построения ГГС СССР. За основу построения взять рис.1.2, где показано два полигона геодезической сети 1 класса. Схему полигонов вычертить в масштабе 1:1 000 000. В одном полигоне показать размещение сетей сгущения триангуляции, во втором – полигонометрии 2 и 3 классов.
3. Пользуясь «Инструкцией ...» [1] составить таблицу основных технических показателей ГГС (табл. 1).

Таблица 1.1 – Основные технические показатели ГГС СССР

№ п/п	Наименование основных технических показателей ГГС	Класс ГГС			
		1	2	3	4
1	Длина звена триангуляции				
2	Длина хода полигонометрии				
3	Длины сторон				
	- триангуляции				
	- полигонометрии				
4	Величина наименьшего угла				
	- в треугольнике				
	- в центральной системе и геодезическом четырехугольнике				
5	Допустимая невязка в треугольнике				
6	Средняя квадратическая ошибка измерения:				
	- базисов				
	- базисных сторон				
	- сторон полигонометрии				
	- углов в триангуляции				
	- углов в полигонометрии				
	- астрономической долготы				
	- астрономической широты				
	- астрономического азимута				
7	Допустимое число треугольников между базисными сторонами				
8	Допустимое число сторон в звене полигонометрии				

Вопросы для самопроверки:

1. Что представляет собой государственная геодезическая сеть?
2. Какой метод построения геодезических сетей применялся при построении государственной геодезической сети 1 класса?
3. Почему сеть триангуляции 1 класса называют астрономо-геодезической сетью?

Лабораторная работа № 2

Схема и программа построения государственной геодезической сети Украины

Построение государственной геодезической сети Украины регламентируется «**Порядком побудови Державної геодезичної мережі**», который утвержден Постановлением Кабинета Министров Украины № 646 от 7 августа 2013 г. Деякі питання реалізації частини першої статті 12 Закону України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність».

Составными частями ГГС Украины являются плановая и высотная сеть, пункты которых должны быть совмещены, или иметь между собой надежную геодезическую связь.

Плановая геодезическая сеть Украины состоит из:

- постоянно действующей сети наблюдений глобальных навигационных спутниковых систем;
- астрономо-геодезической сети 1 класса;
- геодезической сети 2 класса;
- геодезической сети сгущения 3 класса.

Высотная геодезическая сеть Украины состоит из:

- нивелирной сети I и II классов;
- нивелирной сети III и IV классов.

Порядок выполнения работы:

1. Составить краткий конспект (2-4 страницы) основных положений о построении государственной геодезических сетей Украины на основании «Порядка построения Государственной геодезической сети».

2. Составить таблицы основных технических показателей плановой и высотной и гравиметрических сетей.

3. Выполнить сравнительный анализ основных положений о построении государственной геодезических сетей СССР и Украины, а также технических показателей указанных сетей.

Вопросы для самопроверки:

1. Какие методы используют для построения астрономо-геодезической сети 1 класса?
2. Какой метод используют для создания нивелирной сети I и II классов?

Лабораторная работа №3

Вычисление радиусов кривизны нормальных сечений

Через нормаль к поверхности эллипсоида можно провести бесчисленное множество плоскостей. Эти плоскости, перпендикулярные касательной плоскости к поверхности эллипсоида в данной точке, называются нормальными. Кривые, образуемые от пересечения нормальных плоскостей, проведенных в данной точке, с поверхностью эллипсоида, называются нормальными сечениями.

Исходные данные: координаты точки $A(B_A; L_A)$ в зависимости от варианта (n), например

$$B_A = 45^\circ + 0,5^\circ n, \quad L_A = 21^\circ + 0,5^\circ n..$$

Порядок выполнения работы:

1. Составить краткий конспект, осветив следующие вопросы:

- виды сечений эллипсоида плоскостями;
- радиус кривизны меридианного сечения M ;
- радиус кривизны сечения первого вертикала N ;
- средний радиус кривизны эллипсоида в точке R ;
- радиус кривизны произвольного сечения R_A с заданным азимутом A ;
- радиус кривизны параллели r_B .

2. Вычислить радиусы кривизны сечения первого вертикала, меридианного сечения, параллели и средний радиус кривизны в точках с широтами: $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ$ и B_A (в зависимости от варианта).

3. Вычислить радиус кривизны произвольного нормального сечения для точки с широтой B_A и азимутами, изменяющимися от 0° до 360° с шагом 30° . Вычислить среднее значение из всех полученных радиусов и сравнить со средним радиусом кривизны

4. Вычертить:

- график зависимости радиусов кривизны сечения первого вертикала, меридианного сечения, среднего радиуса кривизны в точке от широты;
- график зависимости радиуса параллели от широты;
- график зависимости радиуса кривизны произвольного сечения от значения азимута.

5. Проанализировать полученные результаты.

Справочные данные

1. Формулы для вычислений

Радиус кривизны меридианного сечения

$$M = \frac{a(1-e^2)}{\sqrt{(1-e^2 \sin^2 B)^3}}; \quad M = \frac{a(1-e^2)}{W^3}; \quad M = \frac{c}{V^3}.$$

Радиус кривизны первого вертикала

$$N = \frac{a}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 B}}; \quad N = \frac{a}{W}; \quad N = \frac{c}{V}.$$

Радиус кривизны произвольного нормального сечения, имеющего геодезический азимут A

$$\frac{1}{R_A} = \frac{1}{M} \cos^2 A + \frac{1}{N} \sin^2 A; \quad R_A = \frac{MN}{N \cos^2 A + M \sin^2 A}.$$

Средний радиус кривизны эллипсоида в точке

$$R = \sqrt{MN} = \frac{c}{V^2} = \frac{b}{W^2}.$$

2. Параметры, которые характеризуют эллипсоид Красовского

$a = 6\,378\,245,0$ м,	$e^2 = 0,0066934216$;
$\alpha = 1:298,3 = 0,0033523299$,	$e'^2 = 0,0067385254$;
$b = 6\,356\,863,0188$ м;	$c = 6\,399\,698,9018$ м.

Вопросы для самопроверки:

1. Нарисуйте схему эллипсоида и укажите его полуоси.
2. Какое сечение называют нормальным?
3. Какие различают виды сечений эллипсоида плоскостями?

Лабораторная работа № 4

Вычисление длин дуг параллелей, меридианов, площадей и размеров рамок съемочных трапеций

Исходные данные: координаты точки $A(B_A; L_A)$ в зависимости от варианта.

Порядок выполнения работы:

1. Составить краткий конспект, осветив следующие вопросы:
 - формулы для вычисления длины дуги параллели;
 - формулы для вычисления длины дуги меридиана;
 - вычисление размеров рамок съемочных трапеций;
 - вычисление площади съемочной трапеции.
2. Определить номенклатуру и географические координаты углов листа карты в который попадает точка A для следующих масштабов: 1:1000000, 1:500000, 1:200000, 1:100000, 1:50000, 1:25000, 1:10000, 1:5000.
3. Используя программу решения задач сфероидической геодезии, вычислить длину дуги меридиана в $1^\circ, 1', 1'', 0,1'', 0,01'', 0,001''$ при широте B_A ;
4. Используя программу решения задач сфероидической геодезии, вычислить длину дуги параллели в $1^\circ, 1', 1'', 0,1'', 0,01'', 0,001''$ при широте B_A .
5. Вычислить площади съемочных трапеций и размеры рамок для листов карт масштабного ряда, который перечислен в пункте 2.

Таблица 4.1 – Образец таблицы для вычисления площадей и размеров рамок съемочных трапеций

Вариант _____ Широта _____ Долгота _____

Масштаб	Номен- клатура	В южн ая	В северн ая	L запад ная	L восто чная	с, см	a ₁ , см	a ₂ , см	Площадь , км ²
1:1 000 000									
1: 500 000									
1: 200 000									
1: 100 000									
1: 50 000									
1: 25 000									
1: 10 000									
1: 5 000									

Лабораторная работа № 5

Решение треугольника триангуляции на эллипсоиде

Исходные данные (табл. 5.1):

- географические координаты двух пунктов триангуляции 1-го класса;
- измеренные углы в треугольнике.

Вершины треугольника располагаются по ходу часовой стрелки.

В процессе выполнения работы необходимо вычислить длины всех сторон треугольника, их геодезические азимуты и геодезические координаты точки C .

Таблица 5.1 – Треугольник триангуляции 1-го класса

Пункт	Широта	Долгота	Измеренный угол
A	$47^{\circ} 21' 55,557''$	$37^{\circ} 55' 16,480''$	$51^{\circ} 09' 05,39''$
B	$47^{\circ} 09' 29,168''$	$37^{\circ} 40' 56,179''$	$73^{\circ} 15' 54,59''$
C			$55^{\circ} 35' 01,06''$

Порядок выполнения работы:

1. Используя комплекс программ решения задач сфероидической геодезии решают обратную геодезическую задачу между пунктами A и B и определяют длину исходной стороны, а также прямой и обратный азимуты (табл. 5.2).

Таблица 5.2 – Результаты решения обратной геодезической задачи

B_A A_{AB}	B_B A_{BA}	L_A	L_B S_{AB}
$47^{\circ} 21' 55,557''$	$47^{\circ} 09' 29,168''$	$37^{\circ} 55' 16,480''$	$37^{\circ} 40' 56,179''$
$218^{\circ} 12' 26,524''$	$38^{\circ} 01' 54,663''$		29299,345

2. Решение треугольника по теореме Лежандра, которая гласит: если стороны плоского и сферического треугольника соответственно равны, то углы плоского треугольника равны углам сферического, уменьшенным на одну треть сферического избытка.

Если обозначить через A , B , C углы сферического треугольника, полученные из измерений, а через A' , B' , C' – углы плоского треугольника,

стороны которого равны соответственно сторонам сферического треугольника, то:

$$A' = A - \frac{\varepsilon}{3}; \quad B' = B - \frac{\varepsilon}{3}; \quad C' = C - \frac{\varepsilon}{3}; \quad (5.1)$$

где ε – сферический избыток, который определяется по одной из формул:

$$\varepsilon = f \frac{b^2 \sin A \sin C}{\sin B} = f \frac{a^2 \sin B \sin C}{\sin A} = f \frac{c^2 \sin A \sin B}{\sin C}; \quad (5.2)$$

Коэффициент $f = \frac{\rho''}{2R^2}$ вычисляется по средней широте или принимается равным 0,00253.

Вычисление сферического избытка выполняется в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Вычисление сферического избытка

Формула	Значения
c	29,99345
A	51° 09' 05,39"
B	73° 15' 54,59"
C	55° 35' 01,06"
f	0.0025310
c^2	858.4516174
$\sin A$	0,778807
$\sin B$	0,957648
$\sin C$	0,824952
ε''	1,97

Решение треугольника триангуляции по теореме Лежандра выполняется в таблице 5.4.

Стороны плоского треугольника вычисляют по теореме синусов плоской тригонометрии, используя уравненные углы плоского треугольника и известную сторону.

4. Решение сферического треугольника по способу аддитаментов.

В способе аддитаментов используется следующее положение: Если углы плоского треугольника равны соответствующим углам сферического, то стороны плоского треугольника меньше соответствующих сторон сферического на величину аддитамента.

Для сторон треугольников меньше 100 км аддитаменты вычисляются по формулам:

$$Aa = ka^3; \quad Ab = kb^3; \quad Ac = kc^3; \quad (5.3)$$

Таблица 5.4 – Решение треугольника триангуляции по теореме Лежандра

Вершина	Измеренные углы сферического треугольника	Поправка в сферические углы	Уравненные углы сферического треугольника	$-\varepsilon/3$	Углы плоского треугольника	Синусы углов плоского треугольника	Противолежащие стороны
<i>A</i>	51° 09' 05,39"	+0,31"	51° 09' 05,70"	−0,66"	51° 09' 05,04"	0,778806180	27660,442
<i>B</i>	73° 15' 54,59"	+0,31"	73° 15' 54,90"	−0,66"	73° 15' 54,24"	0,957647115	34012,239
<i>C</i>	55° 35' 01,06"	+0,31"	55° 35' 01,37"	−0,65"	55° 35' 00,72"	0,824951094	29299,345
Σ	180° 00' 01,04"	+0,93"		+1,97"	180° 00' 00,00"		

$$\varepsilon'' = +01,97''$$

$$f_{\beta} = \Sigma \beta - (180^{\circ} + \varepsilon)$$

$$f_{\beta} = -0,93''$$

Таблица 5.5 – Решение треугольника триангуляции по способу аддитаментов

Вершина	Уравненные углы сферического треугольника	Синусы углов сферического треугольника	Стороны плоского треугольника		Аддитаменты A	Стороны сферического треугольника	
A	$51^{\circ} 09' 05,70''$	0,778808187	27660,355	a'	0,078	27660,442	a
B	$73^{\circ} 15' 54,90''$	0,957648034	34012,078	b'	0,162	34012,240	b
C	$55^{\circ} 35' 01,37''$	0,824952875	29299,242	c'	0,103	29299,345	c

Коэффициент $k=409 \cdot 10^{-8}$. В этом случае значение длин сторон принимается в км, а аддитаменты получают в м.

Вычисления производим в табл. 5.5.

Порядок вычислений при применении способа аддитаментов следующий:

- по исходной стороне c вычисляют ее аддитамент A_c , который вычитают из нее и получают c' ;
- используя полученное значение c' и сферические углы, вычисляют по формулам теоремы синусов плоской тригонометрии значения a' и b' ;
- по найденным сторонам a' и b' определяют их аддитаменты A_a , A_b ;
- прибавляя к a' и b' их аддитаменты, получают искомые значения сторон сферического треугольника, выраженные в линейной мере.

5. Вычисляем азимуты направлений AC и BC , используя уравненные углы сферического треугольника и азимут направления AB .

6. Используя программу решения задач сфероидической геодезии решают прямую геодезическую задачу и вычисляют геодезические координаты точки C (широту и долготу) и обратные азимуты от двух исходных точек A и B (табл. 5.6).

7. Вычерчивают схему треугольника триангуляции (рис. 5.1).

На схеме следует привести:

- координаты вершин треугольника;
- измеренные (уравненные) углы;
- величины фактической угловой и допустимой угловой невязки;
- величину сферического избытка;
- длины сторон сферического треугольника;
- прямой и обратный азимут каждого направления.

Таблица 5.6 – Решение прямой геодезической задачи

№	B ₁ B ₂	L ₁ L ₂	A ₁₂ A ₂₁	S ₁₂
1	47° 21' 55,557" 47° 21' 40,052"	37° 55' 16,480" 37° 28' 15,726"	269° 21' 32,220" 89° 01' 39,888"	34012,240
2	47° 09' 29,168" 47° 21' 40,052"	37° 40' 56,179" 37° 28' 15,726"	324° 45' 59,763" 144° 36' 41,258"	27660,442

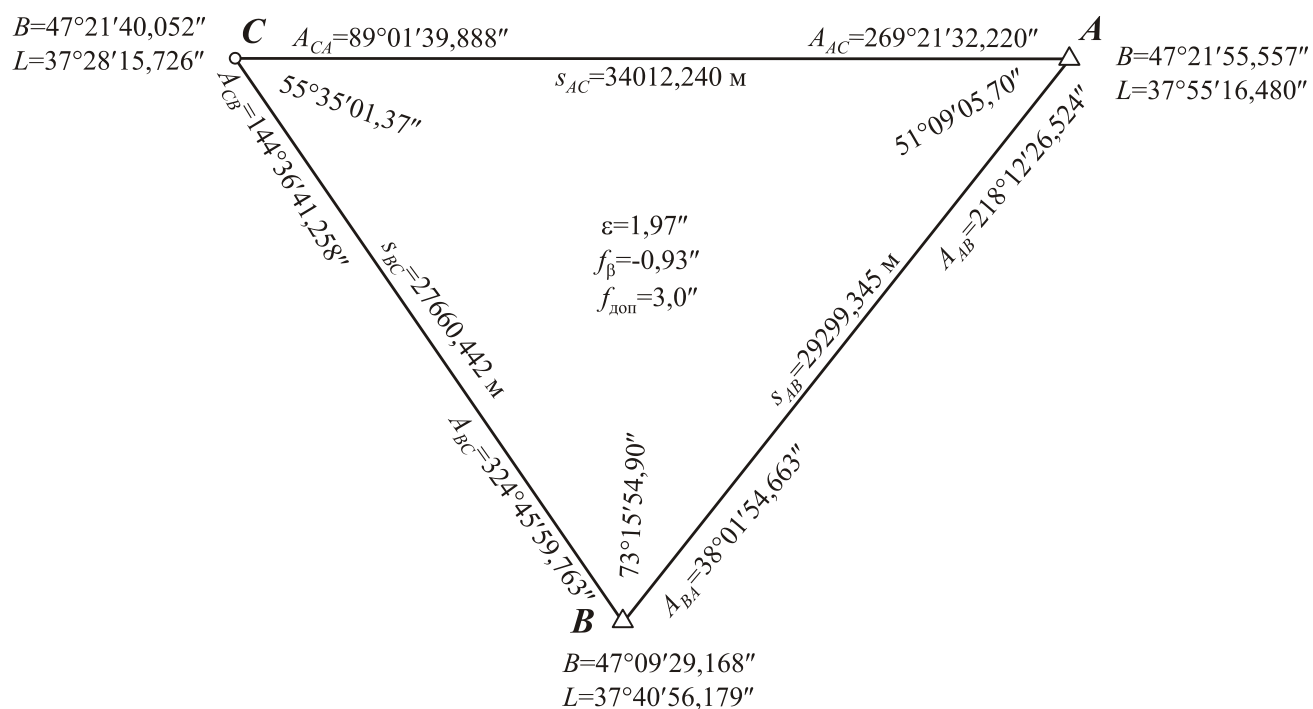


Рисунок 5.1 – Схема треугольника триангуляции 1 класса на поверхности земного эллипсоида

Вопросы для самопроверки:

1. Что определяют из решения прямой геодезической задачи?
2. Как определить сферический избыток?
3. Что называют аддитивом?

Лабораторная работа № 6

Проектирование треугольника триангуляции с эллипсоида на плоскость

Для решения данной задачи должны быть известны:

- геодезические координаты одной вершины треугольника;
- азимут и длина одной его стороны на эллипсоиде;
- измеренные направления (или углы) в треугольнике.

Исходные данные (табл. 6.1):

- геодезические координаты пункта A ;
- длины сторон сферического треугольника;
- уравненные углы сферического треугольника.

Таблица 6.1 – Исходные данные

Вершина	Уравненные сферические углы	Длина стороны треугольника на эллипсоиде	Азимут	Широта
				Долгота
A	$42^{\circ}11'33,53''$			$48^{\circ}49'36,128''$
				$37^{\circ}28'16,729''$
		27253,090	$237^{\circ}12'14,13''$	
C	$68^{\circ}34'41,20''$			
		19576,117		
B	$69^{\circ}13'46,53''$			
		27133,802		
A				

Порядок выполнения работы:

1. По геодезическим координатам (B , L) одной вершины треугольника, например A , вычисляются ее плоские прямоугольные координаты (x , y) в шестиградусной зоне проекции Гаусса-Крюгера и сближение меридианов – γ .

При долготе осевого меридиана равной 39° получаем:

$$x_A = 5411577,954;$$

$$y_A = -112244.391;$$

$$\gamma = -1^{\circ} 09' 02.862''.$$

Эти вычисления производятся с использованием программы решения задач сфероидической геодезии.

2. Вычисляют приближенное значение дирекционного угла стороны AC (табл. 6.2):

$$T' = A - \gamma, \quad (6.1)$$

где A – азимут линии на эллипсоиде.

Таблица 6.2 – Вычисление приближенного дирекционного угла стороны AC

A	$237^{\circ}12'14,13''$
γ	$+1^{\circ}09'02,862''$
T'	$238^{\circ}21'16,99''$

3. Вычисляют приближенное значение длины стороны AC на плоскости (табл. 6.3) по формуле:

$$d' = S + \Delta S', \quad (6.2)$$

где $\Delta S'$ – поправка в длину, вычисляемая по координате y_A :

$$\Delta S' = \frac{y_A^2}{2R_m^2} S, \quad (6.3)$$

где R_m – средний радиус кривизны, вычисляемый при помощи программы, по средней широте треугольника.

Таблица 6.3 – Вычисление приближенной длины стороны AC на плоскости

y_A	-112244
R_m (для широты $48^{\circ}40'$)	6380944
$\Delta S', \text{м}$	$4,2$
$S, \text{м}$	27253
$d', \text{м}$	27257

4. Вычисляют приближенные длины сторон треугольника по теореме синусов (табл. 6.4):

$$d'_{AB} = S_{AC} \frac{\sin C}{\sin B}; \quad d'_{BC} = S_{AC} \frac{\sin A}{\sin B}; \quad (6.4)$$

5. Вычисляют приближенные значения плоских прямоугольных координат, используя приближенные длины сторон, приближенный дирекционный угол исходной стороны и сферические углы (табл. 6.5).

Таблица 6.4 – Вычисление приближенных длин сторон треугольника на плоскости

Вершины	Углы на эллипсоиде	Синусы углов	Стороны на плоскости, м
<i>B</i>	69°13'46,53"	0,93501	27257
<i>C</i>	68°34'41,20"	0,93092	27138
<i>A</i>	42°11'33,53"	0,67162	19579

Таблица 6.5 – Вычисление приближенных координат (до 1 м)

Порядок действий	1	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>C</i>
	2	<i>C</i>	<i>B</i>	<i>B</i>
1	T'_{12}	238°21'17"	280°32'41"	349°46'36"
10	x_2	5397277	5416544	5416545
8	x_1	5411578	5411578	5397277
6	Δx_{12}	-14301	4966	19268
4	$\cos T'_{12}$	-0,52466	0,18300	0,98412
2	d'_{12}	27257	27138	19579
3	$\sin T'_{12}$	-0,85131	-0,98311	-0,17748
5	Δy_{12}	-23204	-26680	-3475
7	y_1	-112244	-112244	-135448
9	y_2	-135448	-138924	-138923

6. Определяют поправки в измеренные направления за кривизну изображения геодезической линии δ''_{ik} и поправки в длины за переход с эллипсоида на плоскость ΔS_{ik} (табл. 6.6), используя программу решения задач сфероидической геодезии.

Таблица 6.6 – Ведомость поправок в направления и расстояния при переходе с эллипсоида на плоскость

Вершина	Координаты в км		δ''_{12}	δ''_{21}	$\Delta S, \text{м}$
	x	y			
A	5411,578	-112,244			
			1,525	-1,636	5,275
B	5416,544	-138,924			
			-6,722	6,666	4,524
C	5397,277	-135,448			
			4,625	-4,344	5,148
A	5411,578	-112,244			

7. Для контроля вычислений поправок за кривизну изображения геодезической линии служит равенство:

$$\Sigma \Delta'' = -\varepsilon'', \quad (6.5)$$

где Δ – поправки в углы Δ за кривизну изображения геодезической линии на плоскости, которые вычисляются как разность поправок в правое и левое направление (табл. 6.7)

$$\Delta = \delta''_{\Pi} - \delta''_{\text{Л}}. \quad (6.6)$$

Таблица 6.7 – Вычисление поправок в углы за кривизну изображения геодезической линии на плоскости

Вершина	δ''_{Π}	$\delta''_{\text{Л}}$	Δ''	Углы на эллипсоиде	Углы на плоскости
A	1,525	-4,344	5,896	42°11'33,53"	42°11'39,40"
B	-6,722	-1,636	-5,086	69°13'46,53"	69°13'41,44"
C	4,625	6,666	-2,041	68°34'41,20"	68°34'39,16"
Σ			-1,258		180°00'00,00"

8. Вычисляют точное значение исходного дирекционного угла (табл. 6.8) по формуле:

$$\alpha_{AC} = A_{AC} - \gamma + \delta_{AC}. \quad (6.7)$$

9. Вычисляют значения длин сторон на плоскости (табл. 6.9).

10. Используя значение дирекционного угла стороны AC, плоские прямоугольные координаты пункта А, значения углов и длин сторон на плоскости решением прямых геодезических задач находят плоские прямоугольные координаты пунктов В и С (табл. 6.10). Координаты пункта В находят дважды.

Таблица 6.8 – Вычисление точного значения дирекционного угла стороны AC

<i>A</i>	237°12'14,13"
$-\gamma$	+1°09'02,862"
δ''_{AC}	-4,34"
T'	238°21'12,65"

Таблица 6.9 – Вычисление длин сторон треугольника на плоскости

Сторона	Длина стороны на эллипсоиде, м	ΔS , м	Длина стороны на плоскости, м
<i>A-C</i>	27253,090	5,148	27258,238
<i>B-C</i>	19576,117	4,524	19580,641
<i>A-B</i>	27133,802	5,275	27139,077

Таблица 6.10 – Вычисление окончательных значений координат

Порядок действий	1	<i>A</i>	<i>A</i>	<i>C</i>
	2	<i>C</i>	<i>B</i>	<i>B</i>
1	α_{12}	238°21'12,65"	280°32'52,05"	349°46'33,49"
10	x_2	5397276,190	5416545,914	5416545,915
8	x_1	5411577,954	5411577,954	5397276,190
6	Δx_{12}	-14301,764	4967,960	19269,725
4	$\cos \alpha_{12}$	-0,524676769	0,183055616	0,984121249
2	d'_{12}	27258,238	27139,077	19580,641
3	$\sin T'_{12}$	-0,851301525	-0,983102558	-0,177497508
5	Δy_{12}	-23204,980	-26680,496	-3475,515
7	y_1	-112244,391	-112244,391	-135449,371
9	y_2	-135449,371	-138924,887	-138924,886

11. Для контроля вычисляют плоские прямоугольные координаты пунктов В и С по геодезическим с использованием программы решения задач сфероидической геодезии (табл. 6.11).

Таблица 6.11 – Вычисление плоских прямоугольных координат по геодезическим с использованием программы

Вершина	Широта	Долгота	Долгота осевого меридиана	x	y
<i>A</i>	48°49'36,128"	37°28'16,729"	39°	5411577,954	-112244,391
<i>B</i>	48°51'57,458"	37°06'23,216"	39°	5416545,900	-138924,888
<i>C</i>	48°41'36,748"	37°09'36,493"	39°	5397276,192	-135449,381

12. Составляют сводку элементов треугольника на плоскости (табл. 6.12).

13. Вычисляют плоские координаты центра тяжести трех вершин треугольника (точка О) и перевычисляют плоские прямоугольные координаты этой точки в другую координатную зону, долготу осевого меридиана которой задает преподаватель. Пересчет осуществляется с промежуточным переходом к геодезическим координатам. Расчеты ведут в таблице 6.13.

Таблица 6.12 – Сводка элементов треугольника на плоскости

Вершина	Длины сторон, м	Дирекционные углы	x	y
<i>A</i>			5411577,954	-112244,391
	27139,077	280° 32' 52,05"		
<i>B</i>			5416545,915	-138924,886
	19580,641	169° 46' 33,49"		
<i>C</i>			5397276,190	-135449,371
	27258,238	58° 21' 12,65"		
<i>A</i>				

Таблица 6.13 – Перевычисление координат точки О из шестиградусной зоны с осевым меридианом 39° в трехградусную координатную зону с осевым меридианом 36°

x y	B l (при $L_0=39^\circ$)	B L	B l_1 (при $L_0=36^\circ$)	x_1 y_1
5408466,682	$48^\circ 47' 43,849''$	$48^\circ 47' 43,849''$	$48^\circ 47' 43,849''$	5407731,174
-128872,887	$-1^\circ 45' 14,668''$	$37^\circ 14' 45,332''$	$1^\circ 14' 45,332''$	91539,814

Вопросы для самопроверки:

1. Какие координаты определяют положение точки в системе геодезических координат?
2. Какой треугольник называют сфероидическим?
3. Какая связь существует между дирекционным углом и азимутом линии?

Лабораторная работа № 7

Перевычисление плоских прямоугольных координат из одной системы в другую

Для решения данной задачи должны быть известны:

- плоские прямоугольные координаты в исходной (старой) системе;
- координаты не менее двух пунктов в выходной (новой) системе.

Пункты, которые имеют координаты в обеих системах, называются общими или исходными. Математический аппарат и технология вычислений зависят от числа общих пунктов. При наличии только двух общих пунктов задача решается без контроля. Если общих пунктов более двух для решения используется принцип наименьших квадратов.

Исходные данные (табл. 7.1):

- плоские прямоугольные координаты всех (семи) пунктов в старой системе координат;
- плоские прямоугольные координаты четырех пунктов в новой системе координат.

Таблица 7.1 – Исходные данные для перевычисления плоских прямоугольных координат из одной системы в другую

Название пункта	Координаты в старой системе		Координаты в новой системе	
	x	y	x'	y'
Рудник	2064,94	587,92	1915,08	971,29
Террикон	2003,24	2299,34	1527,92	2639,69
Мост	951,42	1823,58	1971,88*	586,08*
Граница	701,02	1125,34	473,46*	1238,58*
Пост	1662,51	888,25		
Вышка	1387,56	1254,81		
Канавы	1762,58	1548,67		

Примечание: * эти координаты используются при выполнении второй части работы

Порядок выполнения работы:

А. ПЕРЕВЫЧИСЛЕНИЕ КООРДИНАТ ПРИ НАЛИЧИИ ДВУХ ОБЩИХ ПУНКТОВ

Пусть даны координаты r пунктов в старой системе координат:

$$x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_i, y_i, \dots, x_r, y_r$$

и двух пунктов 1 и 2 в новой системе

$$x'_1, y'_1, x'_2, y'_2.$$

Требуется вычислить координаты остальных $(n - 2)$ пунктов $(3, 4, 5, \dots, n)$ в новой системе.

По координатам пунктов 1 и 2 в старой и новой системах дважды решают обратную геодезическую задачу и вычисляют длины и дирекционные углы этой стороны.

Старая система	Новая система
$tg\alpha_{1-2} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$	$tg\alpha'_{1-2} = \frac{y'_2 - y'_1}{x'_2 - x'_1}$
$S_{1-2} = \frac{y_2 - y_1}{\sin \alpha_{1-2}} = \frac{x_2 - x_1}{\cos \alpha_{1-2}}$	$S'_{1-2} = \frac{y'_2 - y'_1}{\sin \alpha'_{1-2}} = \frac{x'_2 - x'_1}{\cos \alpha'_{1-2}}$

По этим данным вычисляют угол поворота координатных осей

$$\delta\alpha = \alpha' - \alpha \quad (7.1)$$

и масштабный множитель

$$m = 1 + \delta m, \quad \delta m = \frac{S' - S}{S}. \quad (7.2)$$

Вычисление координат в новой системе целесообразно выполнять переходя в любой последовательности от пункта к пункту. Этому соответствуют формулы:

$$\left. \begin{aligned} x'_i &= x'_{i-1} + (x_i - x_{i-1})m \cos \delta\alpha - (y_i - y_{i-1})m \sin \delta\alpha \\ y'_i &= y'_{i-1} + (x_i - x_{i-1})m \sin \delta\alpha + (y_i - y_{i-1})m \cos \delta\alpha \end{aligned} \right\} \quad (7.3)$$

Выбор последовательности перехода от пункта к пункту не имеет принципиального значения, но с целью увеличения точности необходимо стремиться, чтобы расстояние между пунктами было по возможности минимальным. Для контроля правильности перевычисления координат целесообразно заканчивать вычисления на втором исходном пункте.

Дирекционный угол и длину любой стороны сети в новой системе координат можно вычислить по формулам:

$$\alpha' = \alpha + \delta\alpha, \quad S' = S + S\delta m.$$

Кроме того, они могут быть найдены из решения обратных геодезических задач, что также является контролем вычислений.

При наличии только двух общих пунктов подобие сети при перевычислении сохраняется, лишь изменяется ее масштаб, если он не равен 1.

В первой части работы в качестве общих принимаются только два общих пункта.

Определение угла разворота и масштабного множителя, вычисленные по двум общим пунктам, приведено в таблице 7.2.

Вычисление координат всех пунктов в новой системе координат с использованием формул (7.3) произведено в таблице 7.3.

Б. ПЕРЕВЫЧИСЛЕНИЕ КООРДИНАТ ПРИ НАЛИЧИИ БОЛЕЕ ДВУХ ИСХОДНЫХ ПУНКТОВ

В этом случае рассмотрим использование всех четырех общих пункта (табл. 7.1), применяя математический аппарат, именуемый методом Гельмерта.

1. Вначале вычисляют координаты центров тяжести общих точек в обеих системах координат:

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}; \quad y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}; \quad (7.4)$$

$$x'_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x'_i}{n}; \quad y'_0 = \frac{\sum_{i=1}^n y'_i}{n}. \quad (7.5)$$

Для четырех общих пунктов (см. табл. 7.1) будем иметь

$$\begin{aligned} x_0 &= 1430,16 & y_0 &= 1459,05 \\ x'_0 &= 1125,64 & y'_0 &= 1705,36 \end{aligned}$$

2. Определяют координаты общих пунктов относительно полученных центров тяжести (табл. 7.4), т.е. смещают начало координат каждой системы в центр тяжести

$$\bar{x}_i = x_i - x_0; \quad \bar{y}_i = y_i - y_0; \quad (7.6)$$

$$\bar{u}_i = x'_i - x'_0; \quad \bar{v}_i = y'_i - y'_0. \quad (7.7)$$

Указанные координаты для рассматриваемого примера приведены в таблице 7.4.

Таблица 7.4 – Центральные координаты и свободные члены l_x и l_y уравнений поправок

Пункт	\bar{x}	\bar{y}	\bar{u}	\bar{v}	$l_x = \bar{u}_i - \bar{x}_i$	$l_y = \bar{v}_i - \bar{y}_i$
Рудник	634,790	-871,13	789,450	-734,07	154,66	137,055
Террикон	573,090	840,30	402,290	934,33	-170,80	94,035
Мост	478,735	364,54	539,555	266,52	-60,82	-98,015
Граница	729,135	-333,71	652,175	-466,78	76,96	-133,075

3. Рассматривая разности координат как результаты независимых равноточных измерений, составим уравнения поправок

$$\begin{aligned} v_x &= \delta\bar{x} + \bar{x}_i\bar{p} - q\bar{y}_i + l_x; \\ v_y &= \delta\bar{y} + \bar{y}_i\bar{p} + q\bar{x}_i + l_y, \end{aligned} \quad (7.8)$$

где l_x, l_y – свободные члены уравнений поправок:

$$l_x = \bar{u}_i - \bar{x}_i; \quad l_y = \bar{v}_i - \bar{y}_i;$$

p и q – вспомогательные параметры равные:

$$q = m \sin \alpha; \quad p = m \cos \alpha; \quad \bar{p} = p - 1.$$

Вычисление свободных членов уравнений поправок приведено в таблице 7.4.

4. Переход к центральным координатам привел к исключению из уравнений поправок неизвестных δx и δy . Для получения вспомогательных параметров \bar{p} и q будем иметь следующую систему нормальных уравнений:

$$\begin{bmatrix} [\bar{x}^2] + [\bar{y}^2] & 0 \\ 0 & [\bar{x}^2] + [\bar{y}^2] \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{p} \\ q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} [\bar{x}l_x] + [\bar{y}l_y] \\ -[\bar{y}l_x] + [\bar{x}l_y] \end{bmatrix} = 0. \quad (7.9)$$

Результаты вычисления коэффициентов и свободных членов нормальных уравнений приведены в таблице 7.5.

Таблица 7.5 – Коэффициенты и свободные члены нормальных уравнений

Величина	Значение
$[\bar{x}l_x]$	-26704,637
$[\bar{y}l_y]$	-31697,002
$[\bar{x}l_x] + [\bar{y}l_y]$	-58401,639
$[\bar{y}l_x]$	-326103,534
$[\bar{x}l_y]$	284843,357
$-[\bar{y}l_x] + [\bar{x}l_y]$	610946,891
$[\bar{x}^2]$	1492203,462
$[\bar{y}^2]$	1709199,246
$[\bar{x}^2] + [\bar{y}^2]$	3201402,708

5. Решение системы нормальных уравнений дает следующие значения неизвестных

$$\begin{aligned} \bar{p} &= -0,0182425; \\ p &= \bar{p} + 1 = 0,9817575; \\ q &= 0,1908372. \end{aligned}$$

6. Угол разворота систем координат и масштабный коэффициент равны

$$\alpha = \arctg\left(\frac{q}{p}\right) = \arctg\left(\frac{0,1908372}{0,9817575}\right) = 0,1919891 = 11^{\circ}00'00,6''$$

$$m = \sqrt{p^2 + q^2} = 1,000133.$$

7. Для нахождения параметров смещения начал координат используются следующие формулы:

$$\delta x = x'_0 - x_0 p + y_0 q; \quad (7.10)$$

$$\delta y = y'_0 - y_0 p - x_0 q. \quad (7.11)$$

$$\delta x = 0,0098; \quad \delta y = 0,0048.$$

8. Подставляя найденные параметры трансформирования в общие уравнения преобразования

$$\begin{aligned} x' &= \delta x + xm \cos \alpha - ym \sin \alpha; \\ y' &= \delta y + xm \sin \alpha + ym \cos \alpha, \end{aligned} \quad (7.12)$$

вычисляют координаты в новой системе (табл. 7.6).

Таблица 7.6 – Перевычисленные координаты в новую систему

Название пункта	Координаты в старой системе		Координаты в новой системе	
	x	y	x'	y'
Пост	1662,51	888,25	1462,68	1189,32
Вышка	1387,56	1254,81	1122,79	1496,72
Канава	1762,58	1548,67	1434,89	1856,78

Вопросы для самопроверки:

1. В чем заключается обратная геодезическая задача?
2. Что означает масштабный коэффициент?
3. Какой метод перевычисления координат используют при наличии пяти общих пунктов в двух системах координат?

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Описание комплекса компьютерных программ для решения задач сфероидической геодезии

Комплекс компьютерных программ по решению задач сфероидической геодезии содержит процедуры по решению 11 наиболее важных задач (рис. А.1),

При выборе конкретной задачи открываются соответствующие окна, которые имеют общую структуру (рис. А.2).

Каждое рабочее окно разделено по вертикали на три части (зоны). В верхней части вводятся необходимые исходные данные. Здесь пользователю доступны все поля для ввода или корректировки данных, а также кнопка «Вычислить». При нажатии данной кнопки и корректных исходных данных производится решение задачи и получаемые результаты появляются в средней части (зона результатов вычисления) окна программы. В этой части все поля недоступны для изменений и корректировки. Для накопления результатов с последующим сохранением данных в файл, предусмотрена нижняя часть окна (зона накопления результатов и сохранения их файл). Здесь имеется таблица и три управляющие кнопки:

«Очистить» – для удаления результатов в таблице, т.е. для очистки таблицы;

«Добавить» – для заполнения (добавления) очередной строки таблицы данными, расположенными в средней части;

«В файл» – для записи исходных данных и результатов вычислений в текстовый файл, имя которого задает пользователь.

Рассмотрим краткую характеристику исходных данных и получаемых результатов при решении каждой из 11 задач.

1. Вычисление главных радиусов кривизны (радиусов кривизны меридианного сечения M и сечения первого вертикала N), среднего радиуса кривизны R и радиуса параллели r_B (рис. А.3). Все указанные параметры зависят только от широты точки, которая является единственным исходным параметром. Вычисляемые значения получают в метрах.

2. Вычисление радиуса кривизны произвольного нормального сечения (рис. А.4) предусматривает задание широты точки и геодезического азимута нормального сечения.

3. Вычисление длины дуги параллели (рис. А.5) предполагает задание широты параллели и долгот крайних точек дуги.

4. Вычисление длины дуги меридиана (рис. А.6) требует задание геодезических широт крайних точек дуги.

5. Вычисление площади съемочной трапеции предусматривает задание геодезических широт южной и северной параллелей, а также геодезических долгот западного и восточного меридианов (рис. А.7). Искомую площадь получают в квадратных километрах.

6. Вычисление размеров рамок съемочных. Как и предыдущей задаче, исходными данными являются геодезических широт южной и северной параллелей, геодезических долгот западного и восточного меридианов, а также знаменатель масштаба листа карты. Рамки: боковая (c), южная (нижняя a_1), северная (верхняя a_2) получают в сантиметрах.

7. Для решения прямой геодезической задачи на поверхности эллипсоида (рис.А.9) реализованы следующие методы:

- по способу вспомогательной точки (формулы Шрейбера);
- по формулам со средними аргументами (способ Гаусса);
- методом Рунге-Кутта 4-го порядка;
- методом Рунге-Кутта-Мерсона;
- методом Рунге-Кутта-Ингланда.

В качестве исходных данных задают геодезические координаты начальной точки B_1, L_1 , длину геодезической линии s и прямой геодезический азимут A_{12} .

В результате решения получают геодезические координаты конечной точки B_2, L_2 и обратный геодезический азимут A_{21} .

8. Для решения прямой геодезической задачи на поверхности эллипсоида (рис. А.10) реализованы следующие методы:

- по формулам со средними аргументами (способ Гаусса);
- методом итераций.

В качестве исходных данных задают геодезические координаты начальной точки B_1, L_1 , и конечной точки B_2, L_2 .

В результате решения получают прямой A_{12} и обратный A_{21} геодезические азимуты и длину геодезической линии s .

9. Для вычисления плоских прямоугольных координат по геодезическим (рис. А.11) задаются широта и долгота точки, долгота осевого меридиана и указание нужно ли добавлять к ординатам 500 км.

Выходными данными являются плоские прямоугольные координаты, масштаб проекции и значение Гауссова сближения меридиана.

10. Для вычисления геодезических координат по плоским прямоугольным (рис. А.12) задаются абсцисса и ордината точки, долгота осевого меридиана и указание нужно ли вычитать 500 км из значения ординаты.

Выходными данными являются геодезические координаты, масштаб проекции и значение Гауссова сближения меридиана.

11. В процедуре вычисления поправок за переход с эллипсоида на плоскость (рис. А.13) предусмотрено вычисление поправок в направления за кривизну изображения геодезической линии на плоскости, а также поправки в длину геодезической линии.

Исходными данными случают плоские прямоугольные координаты конечных точек линии, выраженные в метрах.

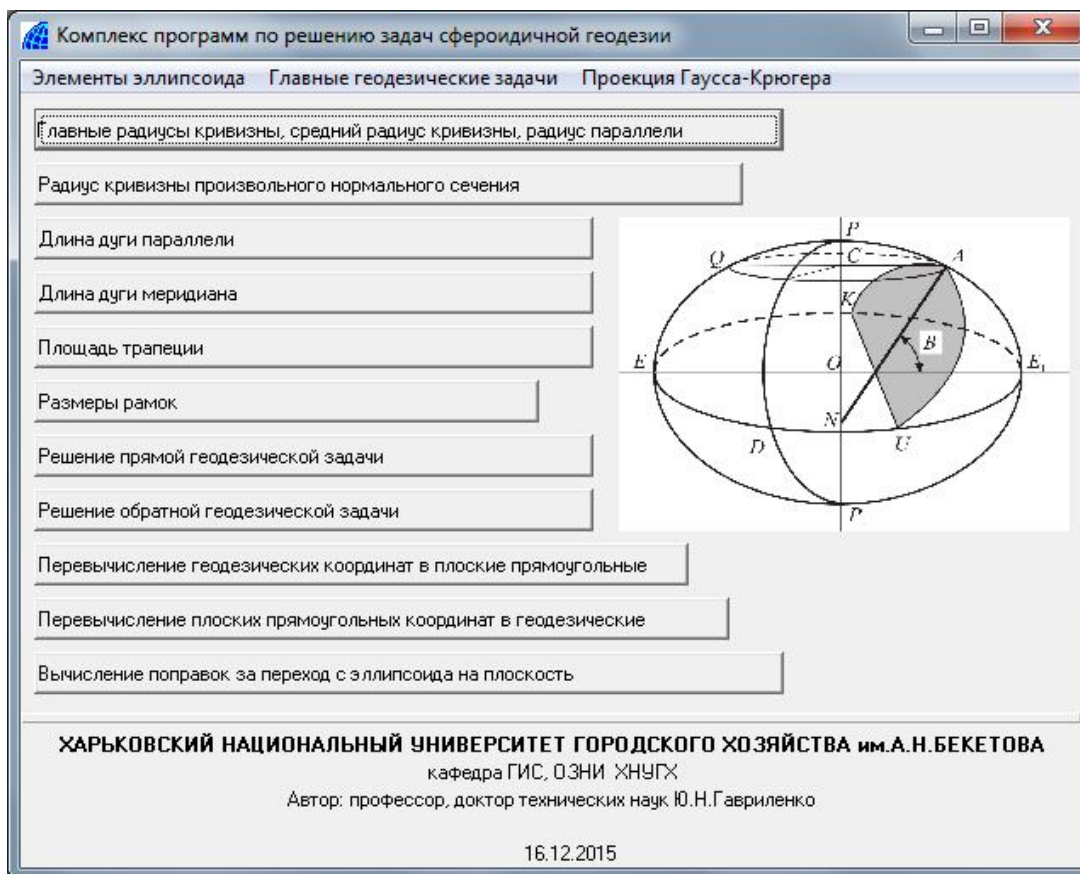


Рисунок А.1 – Стартовое окно комплекса программ по решению задач сфероидической геодезии

Вычисление радиуса кривизны произвольного нормального сечения

Широта Азимут

Широта

Радиус кривизны произвольного нормального сечения, м

Азимут

В			А			RA
50	10	0.0000	240	57	0.0000	6386706.370

Рисунок А.4 – Окно вычисления радиуса кривизны произвольного нормального сечения с заданным азимутом

Вычисление длины дуги параллели

Широта параллели

Долгота L1

Долгота L2

Широта

Разность долгот

Долгота L1

Долгота L2

Длина дуги параллели, м

Широта В	Долгота 1 точки L1	Долгота 2 точки L2	Разность долгот	Длина дуги параллели, м
50 0 0.000000	37 0 0.000000	38 0 0.000000	1 0 0.000000	71696.947

Рисунок А.5 – Окно вычисления длины дуги параллели

Вычисление длины дуги меридиана

Широта 1 точки 48 00 00,00000 Широта 2 точки 50 00 00,00000

Вычислить

Широта 1 точки 48 00 00,00000 Разность широт 2 0 0,00000

Широта 2 точки 50 00 00,00000 Длина дуги меридиана, м 222423.244

Очистить Добавить В файл

Вычисление длин дуг меридианов			
Широта 1-й точки B1	Широта 2-й точки B2	Разность широт	Длина дуги меридиана, м
48 0 0.00000	50 0 0.00000	2 0 0.00000	222423.244

Рисунок А.6 – Окно вычисления длины дуги меридиана

Вычисление площади съемочной трапеции

Широта северной параллели, B2 52 00 00,00000 Долгота восточного меридиана, L2 36 00 00,00000

Широта южной параллели, B1 48 00 00,00000 Долгота западного меридиана, L1 42 00 00,00000

Вычислить

Широта B2 52 00 00,00000 Долгота, L2 36 00 00,00000 Площадь трапеции, кв. км 191357.7785

Широта B1 48 00 00,00000 Долгота, L1 42 00 00,00000

Очистить Добавить В файл

Вычисление площадей съемочных трапеций				
Широта B1	Широта B2	Долгота L1	Долгота L2	Площадь, кв. км
48 0 0.00000	52 0 0.00000	42 0 0.00000	36 0 0.00000	191357.779

Рисунок А.7 – Окно вычисления площади съемочной трапеции

Вычисление размеров рамок съемочных трапеций

Широта северной параллели, B2 52 00 00,00000 Долгота восточного меридиана, L2 42 00 00,00000

Широта южной параллели, B1 48 00 00,00000 Долгота западного меридиана, L1 36 00 00,00000

Знаменатель масштаба карты 1000000

Вычислить

Широта B2 52 00 00,00000 Долгота, L2 42 00 00,00000 с, см 44.49

Широта B1 48 00 00,00000 Долгота, L1 36 00 00,00000 a1, см 44.78

a2, см 41.21

Очистить Добавить В файл

B1 B2	L1 L2	Знаменатель масштаба m	с, см	a1, см	a2, см
48 0 0.00000	36 0 0.00000	1000000	44.49	44.78	41.21
52 0 0.00000	42 0 0.00000				

Рисунок А.8 – Окно вычисления размеров рамок съемочной трапеции

Решение прямой геодезической задачи

Метод решения

- ☒ Прямая задача по способу вспомогательной точки (формулы Шрейбера)
- ☐ Прямая задача по формулам со средними аргументами (способ Гаусса)
- ☐ Прямая задача методом Рунге-Кутты 4-го порядка
- ☐ Прямая задача методом Рунге-Кутты-Мерсона
- ☐ Прямая задача методом Рунге-Кутты-Ингланда

Широта начальной точки, B1 47 09 29,168 Прямой азимут A 1-2 37 55 16,480

Долгота начальной точки, L1 37 40 56,179 Длина геодезической линии, м 27660,442

Вычислить

Широта конечной точки, B2 47 21 14,92265 Обратный азимут, A 2-1 218 5 11,34124

Долгота конечной точки, L2 37 54 26,17906 Метод решения Ф-лы Шрейбера

Очистить Добавить В файл

Широта B1 Долгота L1	Азимут A 1-2 Длина S 1-2	Широта B2 Долгота L2	Азимут A 1-2	Метод решения
47 9 29.16800	37 55 16.48000	47 21 14.92265	218 5 11.34124	Ф-лы Шрейбера
37 40 56.17900	27660.4420	37 54 26.17906		

Рисунок А.9 – Окно решения прямой геодезической задачи на поверхности земного эллипсоида

Решение обратной геодезической задачи

Метод решения

☒ Обратная задача по формулам со средними аргументами (способ Гаусса)

☐ Обратная задача методом итераций

Широта начальной точки, B1 47 09 29,168 Долгота начальной точки, L1 37 40 56,179

Широта конечной точки, B2 47 21 14,9226 Долгота конечной точки, L2 37 54 26,1790

Вычислить

Прямой азимут, A 1-2 37 55 16,48076 Длина геодезической линии, м 27660.440

Обратный азимут, A 2-1 218 5 11.34280 Метод решения способ Гаусса

Очистить Добавить В файл

Решение обратной геодезической задачи					
Широта B1	Широта B2	Азимут A 1-2	Длина геодез. линии, м	Метод решения	
Долгота L1	Долгота L2	Азимут A 2-1			
47 9 29.16800	47 21 14.92260	37 55 16.48076	27660.4403	способ Гаусса	
37 40 56.17900	37 54 26.17900	218 5 11.34280			

Рисунок А.10 – Окно решения обратной геодезической задачи на поверхности земного эллипсоида

Перевычисление геодезических координат в плоские прямоугольные

Геодезические координаты Долгота осевого меридиана

Долгота 37 00 00,00000 39 00 00

Широта 48 00 00,00000 ☐ Добавлять 500 км?

Вычислить

Абсцисса X 5320457.4197 Ордината Y -149250.0615

Масштаб проекции 1.000273600037 Гауссово сближение меридианов -1 29 11.6247

Очистить Добавить В файл

Перевычисление геодезических координат в плоские прямоугольные					
Широта B	Долгота L	L0	X	Y	
48 0 0.00000	37 0 0.00000	39 0 0	5320457.420	-149250.062	

Рисунок А.11 – Окно вычисления плоских прямоугольных координат по геодезическим

Перевычисление плоских прямоугольных координат в геодезические

Плоские прямоугольные координаты
 Абсцисса X: 5320457.5197
 Ордината Y: -149250.0615

Долгота осевого меридиана
 000 00 00

☐ Вычитать 500 км ?

Вычислить

Геодезические координаты
 Долгота от осевого меридиана: -2 0 0.0001
 Широта: 48 0 0.0032

Масштаб проекции: 1.000273600205

Гауссово сближение меридианов: -1 29 11.6248

Очистить Добавить В файл

Перевычисление плоских прямоугольных координат в геодезические				
X	Y	L0	Широта B	Долгота L
5320457.520	-149250.062	0 0 0	48 0 0.00324	-2 0 0.0001

Рисунок А.12 – Окно вычисления геодезических координат по плоским прямоугольным

Поправки за переход с эллипсоида на плоскость

Плоские прямоугольные координаты начальной точки
 Абсцисса X₁: 5320000
 Ордината Y₁: 103600

Плоские прямоугольные координаты конечной точки
 Абсцисса X₂: 5350100
 Ордината Y₂: 103800

Вычислить

Поправки за кривизну изображения геодезической линии на плоскости
 δ_{1-2} : -7.90 сек δ_{2-1} : 7.91 сек

Поправки за кривизну изображения
 Δ_s : 3.9750

Очистить Добавить В файл

Поправки за переход с эллипсоида на плоскость			
x1, km delta 12, sec	y1, km delta 21, sec	x2, km ds, m	y2, km
5320.000	103.600	5350.100	103.800
-7.90	7.91	3.9750	

Рисунок А.13 – Окно вычисления поправок за кривизну изображения геодезической линии на плоскости и поправка в длину линии за кривизну изображения

Список источников

1. Инструкция о построении государственной геодезической сети СССР (ГКИНП-9) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://lawru.info/dok/1966/01/07/n1190775.htm>.
2. Деякі питання реалізації частини першої статті 12 Закону України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність» [Електронний ресурс] : Постанова Кабінету Міністрів України від 7 серпня 2013 р. № 646. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/ru/646-2013-%D0%BF>.
3. Геодезія : підручник / за заг. ред. С. Г. Могильного, С. П. Войтенка. – Донецьк, 2003. – 458 с.
4. Бойко Е. Г. Высшая геодезия. Часть II. Сфероидическая геодезия : учебник для вузов. – Москва : Картгеоцентр-Геодезиздат, 2003. – 144 с.
5. Практикум по высшей геодезии (вычислительные работы) / Н. В. Яковлев, Н. А. Беспалов, В. П. Глумов и др. – Москва : Недра, 1982. – 368 с.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять і самостійної роботи
з дисципліни

ВИЩА ГЕОДЕЗІЯ

*(для студентів денної та заочної форм навчання напряму підготовки
6.080101 – Геодезія, картографія та землеустрій)*

(Рос. мовою)

Укладачі: **ГАВРИЛЕНКО** Юрій Миколайович,
ГЛУШЕНКОВА Ірина Сергіївна

Відповідальний за випуск *К. А. Мамонов*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2015, поз. 42М

Підп. до друку 24.02.2015 р.
Друк на ризографі.
Зам. №

Формат 60x84/16
Ум. друк. арк. 2,4
Тираж 50 пр.

Виконавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 4705 від 28.03.2014 р.